

Posten 14: Haus Bahnhofstrasse 16**Zerfall des Sandsteins**

Die teilweise abblätternen Sandsteinblöcke des Hauses Bahnhofstrasse 16 stehen exemplarisch für die geringe Verwitterungsresistenz des Molassesandsteins und im Speziellen des grünlichgrauen «Luzerner Sandsteins».

Wir werden uns mit folgenden Fragen beschäftigen:

- Weshalb ist der Luzerner Sandstein wenig verwitterungsresistent?
- Was lässt sich dagegen tun?



Grossmünster Zürich (64 m)



Berner Münster (101 m) und Altstadt von Bern, Unesco Weltkulturerbe



Stiftskirche St. Gallen (68 m), Unesco Weltkulturerbe

Abb. 1: Wichtige sakrale Bauwerke in der Schweiz mit Sichtfassaden aus Molassesandstein

Sandstein - Fluch und Segen zugleich

Viele sakrale Bauwerke in der Schweiz und in Deutschland sind aus Sandstein erbaut. So z. B. der Kölner Dom und der Dom in Freiburg im Breisgau, aber auch das Berner und Basler Münster oder das Zürcher Grossmünster. «Wenn der Dom fertig wird, geht die Welt unter.» So sagt der Volksmund in Köln über den dortigen Dom, an welchem 632 Jahre lang gebaut wurde, von 1248 bis 1880. Dasselbe gilt auch für Bern. Auch das dortige Münster wird aufgrund von einer geringen Verwitterungsresistenz des verwendeten Molassesandsteins eine Baustelle für die Ewigkeit bleiben. Selten versteckt sich nicht die eine oder andere Seite des Berner Münsters hinter Baugerüsten, und ist die eine Seite fertig restauriert, beginnen die Arbeiten anderswo von Neuem. Ein klein wenig besser ergeht es Zürich, der dort häufig verwendete «Bollinger Sandstein» vom Oberen Zürichsee ist vergleichsweise weniger anfällig. Dies gilt auch für den rötlichgrauen «Granitischen Sandstein», den wir an Posten 3 kennengelernt haben. Der grünlichgraue «Luzerner Sandstein» hingegen ist wie der Sandstein aus Bern sehr anfällig auf Verwitterung.

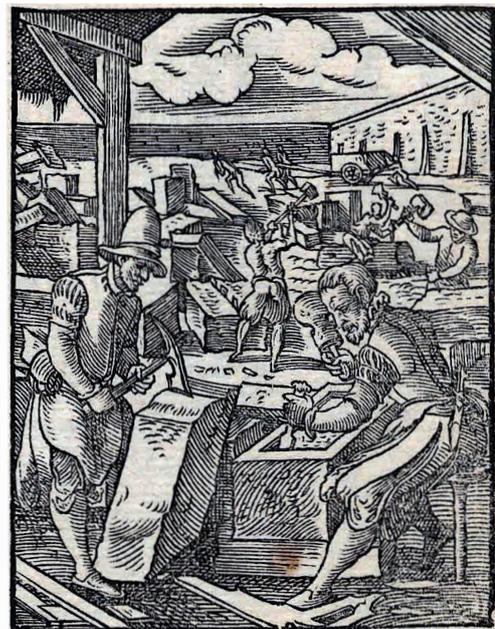


Abb. 2: Steinmetze im 16. Jahrhundert bei der Arbeit

Der Molassesandstein ist kein hartes Gestein. Die Sandkörner sind nur schwach und auch nicht vollständig miteinander verbunden, wodurch der Sandstein fast wie ein Schwamm Wasser aufsaugen kann und nur



Abb. 3: Detailgenau aus dem Sandstein gehauene Figuren wie dieser Wasserspeier (zur Ableitung des Regenwassers) in Form eines Adlers verdeutlichen, wie hervorragend Molassesandstein für feinste Bildhauerarbeiten geeignet ist (Berner Münster).

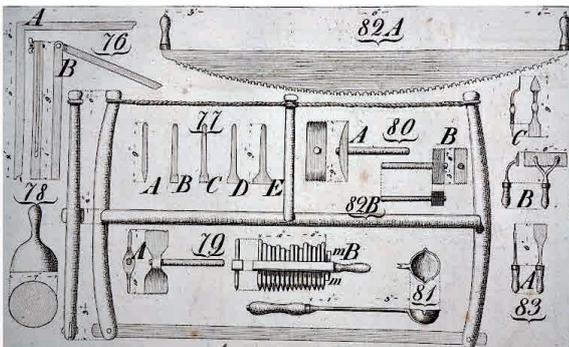


Abb. 4: Steinmetz - Werkzeuge, abgebildet in einem «Lehrbuch der Baukunst» von 1820

Als mit dem Bau der meisten grossen sakralen Bauwerke aus Sandstein begonnen wurde, konnte man getrost damit leben, dass sich das Gestein bei Regen mit Wasser vollsog, denn es trocknete auch immer wieder aus. Sichtbare Schäden traten kaum oder erst mit grosser Verzögerung auf.

Mit der Industrialisierung, die in Mitteleuropa gegen Ende des 18. Jahrhunderts einsetzte, veränderte sich die Qualität der Luft jedoch grundlegend. Viele Industriebetriebe nutzten Kohle als Brennmaterial zur Produktion von Energie für ihre Maschinen. Der zunehmende Wohlstand in den Städten ging einher mit dem Verbrauch von Energie zum Heizen und für die Herstellung von elektrischem Strom. Dadurch wurden gewaltige Mengen an Abgasen ausgestossen, welche zusammen mit dem Regenwasser chemische Verbindungen bildeten, die tief in das Gestein eindrangen. Heute werden statt Kohle Erdöl und Erdgas verwendet. Obwohl Heizungen und Industrieanlagen technisch sehr ausgereift sind, gelangen jedoch noch immer grosse Mengen von Gasen in die Luft, welche die Bauwerke schädigen.

Fossile Brennstoffe enthalten beispielsweise einen geringen Anteil an Schwefel. Bei der Verbrennung entsteht daraus das Gas Schwefeldioxid (SO_2), das mit Luftsauerstoff und Regenwasser zu Schwefelsäure (H_2SO_4) reagiert. Dringt solch schwefelsäurehaltiges Regenwasser in die Poren von Sandstein ein, reagiert die Schwefelsäure mit dem Kalzit, der als Zement die Sandkörner zusammenhält (Abb. 6), zu Gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$, Abb. 5). Gipskristalle haben ein um hundert Prozent grösseres Volumen als die Ausgangsstoffe und

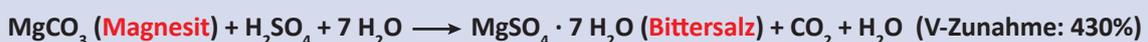
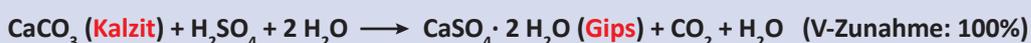


Abb. 5: Beispiele chemischer Reaktionen von Mineralen in Gesteinen mit Schwefelsäure, die zu einer Volumenzunahme (V-Zunahme) führen.

langsam wieder austrocknet. Viele Mauern und kunstvoll von Steinmetzen geschaffene Verzierungen bröckeln deshalb langsam, aber stetig ab.

Dass dieses Gestein für Profanbauten wie das Haus Nr. 16 an der Luzerner Bahnhofstrasse gewählt wurde, lässt sich durch seine leichte Verfügbarkeit in der unmittelbaren Umgebung erklären (vgl. Ergänzung zu Posten 3). Oft wurden die Mauern zum Schutz vor Verwitterung noch zusätzlich mit einem Mörtelüberzug versehen. Wieso aber wurde für wichtige, sakrale Bauwerke, die für die Ewigkeit hätten gebaut sein sollen, nicht ein dauerhafteres Gestein gewählt? Überall, wo Sandstein verwendet wurde, besass er zwei, für die damalige Zeit unabdingbare Eigenschaften, die ihn anderen Gesteinen gegenüber konkurrenzlos machten:

- Er war in geringer Distanz von der Baustelle in grosser Menge vorhanden. Dies senkte die Transport- und damit die Baukosten, besonders in jenen Zeiten bevor Eisenbahn und motorisierte Lastwagen existierten, als die Steine mühsam auf Pferdefuhrwerken transportiert werden mussten.
- Die Weichheit des Sandsteins ermöglichte es auch schon vor vielen hundert Jahren, sehr feine Verzierungen und Figuren aus dem Gestein heraus zu arbeiten, wie sie z. B. am Berner Münster in grosser Zahl vorkommen (Abb. 3). Damals hatten die Steinmetze nur einfache, handgeschmiedete und nicht besonders harte Werkzeuge aus Eisen zur Verfügung (Abb. 2, 4). Heute verwenden sie auch diamantbesetzte Fräsen und Pressluftgeräte.

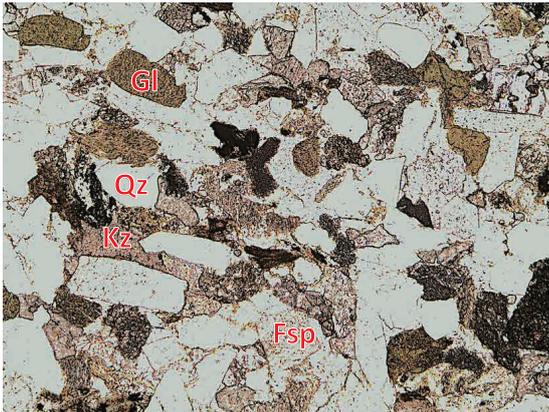


Abb. 6: Dünnschliffphoto eines Molassesandsteins, Vergrößerung ca. 25 x.

Qz: Quarz

Fsp: Feldspat

Gl: Glaukonit (grünlich-bläulich, gibt dem Gestein seine Farbe)

Kz: Kalzit, wächst als Zement in den Poren zwischen den anderen Mineralkörnern.

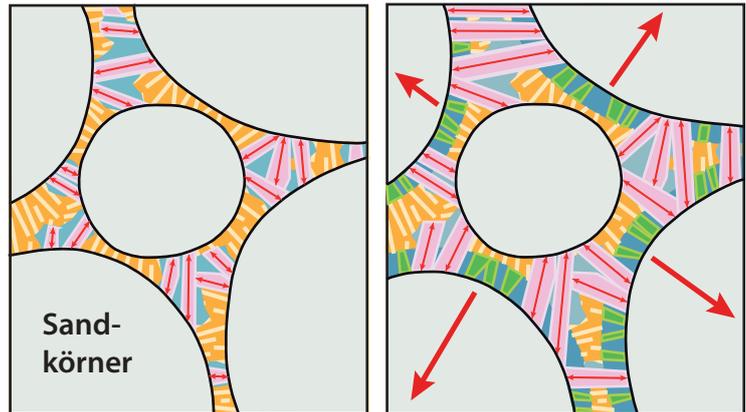


Abb. 7: Sprengung von Sandstein: In wassergefüllten Poren zwischen den Sandkörnern (hellblau) wachsen z. B. Gips- oder Steinsalzkristalle (rosa). Diese dehnen sich durch ihr Wachstum aus und drücken die Sandkörner auseinander. Dabei entstehen neue Hohlräume (dunkelblau), in welchen auch wieder Kristalle wachsen (grün). Auch diese drücken die Sandkörner weiter auseinander. So lösen sich die Sandkörner nach und nach voneinander ab und das Gestein bröckelt auseinander. Die roten Pfeile geben die Richtung der Ausdehnung an.

üben beim Wachstum z. B. bei 70% Luftfeuchtigkeit und 0°C einen Druck von 160 N/mm² auf ihre Umgebung aus. Wiederholtes Wachstum solcher Kristalle in den Gesteinsporen (Abb. 7) führt zur oberflächlichen Lockerung des Gesteins und schliesslich zum Abblättern der Gesteinsoberfläche (Abb. 8). Beispiele dafür findet man auch überall in Bern (Abb. 9, 10).

Einen Ausdehnungseffekt von gar 430% hat das Wachstum von Bittersalz, das aus einer Reaktion des Minerals Magnesit mit Schwefelsäure entsteht (Abb. 5). Auch Steinsalzkristalle können in den Gesteinsporen wachsen (Abb. 11). Natriumchlorid wird vor allem im Winter über Wasser aufgenommen, das mit gelöstem Streusalz belastet ist. In porösem Sandstein kann Wasser wie in einem Schwamm durch die Kapillarkraft¹ in die Mauern aufsteigen.



Abb. 8: Diverse Stellen mit abblätterndem «Luzerner Sandstein» am Haus Bahnhofstrasse 16. Den Grund für das Abblättern kann man hier von aussen nicht sehen.



Abb. 9: Bei Feuchtigkeit wachsen in den Poren des Sandsteins feine Gipskristalle (weiss), die Schicht um Schicht des Gesteins abblättern lassen (Nydegghof, Bern).

Münsterbauhütte

Etlliche Städte mit grossen Sakralbauten – meist als Münster bezeichnet – aus verwitterungsanfälliger Sandstein betreiben sogenannte Münsterbauhütten. In der Schweiz sind dies Bern und Basel, in Deutschland z. B. Feiburg im Breisgau. Dies betrifft aber nicht nur Bauwerke aus Molassesandstein, auch der rote Buntsandstein kann verwitterungsanfällig sein, so z. B. im Fall von Basel und Freiburg im Breisgau.

¹ Kraft, die Flüssigkeiten in einer Kapillare gegen die Schwerkraft nach oben steigen lässt. Ursache ist die Oberflächenspannung der Flüssigkeit und die Grenzflächenspannung zwischen Flüssigkeit und Kapillare.



Abb. 10: In diesem Bereich des Berner Münsters ist der Sandstein bereits so stark abgeblättert, dass die ursprüngliche Form der Verzierungen kaum mehr zu erkennen ist.



Abb. 11: Rasterelektronenmikroskopische Fotografie von NaCl (Steinsalz)-kristallen, die Mauerwerk sprengen können, Bildhöhe 0.05 mm.

«Bauhütte» ist ein historischer Begriff für einen Werkstattverband, dem verschiedene Spezialisten wie Steinmetze, Zimmerleute, Maurer, Schmiede und Glaser angehören. Die Bauhütten waren früher streng hierarchisch organisiert und bewahrten ihre Berufsgeheimnisse im engsten Kreis. Sie hatten eine eigene Gerichtsbarkeit und politische Vertretung und waren für die Ausbildung junger Berufsleute besorgt. Viele grosse sakrale Bauten wie Münster, Dome und Basiliken wurden von Bauhütten gebaut, die nach der Fertigstellung aber meist aufgelöst wurden.

In Bern wurde in den 1880er-Jahren für die Aufstockung des Turmes von 61 auf 101 m eine neue Münsterbauhütte gegründet, die bis heute aktiv ist. Heute ist es ihre Aufgabe, den Zerfall des Berner Münsters so gut wie möglich aufzuhalten. Kaputte Steinblöcke werden laufend repariert oder ersetzt. Dabei kommen modernste Techniken zum Einsatz. So wird zum Beispiel mittels feiner Spritzen eine Flüssigkeit in Risse eingespritzt, die unter der Gesteinsoberfläche aushärtet und dadurch schadhaftes Gestein von innen verklebt und stabilisiert (Abb. 12).

Abgeblätterte Stellen werden mit Mörtel nachgeformt (Abb. 13). Manchmal müssen auch Teile vollständig ersetzt werden (Abb. 14, 15). Diese Arbeiten sind sehr aufwändig und können Jahre dauern.

An den Aussenmauern des Berner Münsters, die dem Wetter besonders ausgesetzt sind, gibt es nicht mehr viele Originalsteine aus der Zeit des Münsterbaus. Die meisten Steine wurden im Lauf der Zeit ersetzt, oft sogar mehrmals. Dabei wurde auch Sandstein aus Zug oder sogar St. Margrethen in der Region Bodensee verwendet. Das Vermischen unterschiedlicher Gesteinstypen mit unterschiedlichen Eigenschaften



Abb. 12: Injektion einer Flüssigkeit, die in den Rissen aushärtet und den beschädigten Stein stabilisiert. Dafür wird eine medizinische Spritze verwendet.



Abb. 13: Reparatur einer abgeblätterten Stelle durch das Auftragen von Spezialmörtel und feinen Netzen.



Abb. 14: Herstellung eines neuen Steins als Ersatz durch einen Steinmetz mit traditionellem Werkzeug.

ten schuf jedoch weitere, noch grössere Probleme. Härtere Steinblöcke «erdrücken» die Weicheren, wodurch erst recht Risse entstehen und die Steine abblättern. Seit dem Jahr 2000 wird viel weniger ersetzt und dafür mehr durch die Injektion von Klebstoffen und das Auftragen von Mörtel repariert.

Eine radikale Lösung wurde in Zürich gewählt, wo die Fassadenverkleidung des ETH-Hauptgebäudes, die in den 1860er-Jahren aus Berner Sandstein errichtet wurde, bereits ab 1921 durch einen sehr soliden, farblich kaum unterscheidbaren Kunststein aus Zement, weissem Quarzsand und den Farbpigmenten Chromoxidgrün und Ocker ersetzt wurde. Mit der Zeit setzte sich Kunststein als Imitat von Sandstein im Bauwesen des 19. und frühen 20. Jahrhunderts sogar weitgehend durch (Abb. 17).



Abb. 15: Ein neu hergestellter Stein wird anstelle eines kaputten Steins eingesetzt.



Abb. 16: Um die richtigen Mörtelmischungen und Injektionsflüssigkeiten zu finden, wird in der Münsterbauhütte geforscht und «geprübelt».

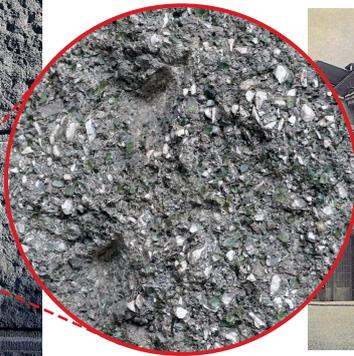
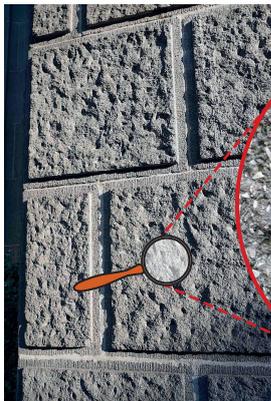


Abb. 17: Fassadensteine des Hauses «Du Pont» von 1914 in Zürich. Im Detail erkennt man die grünen Glassplinter, die der Kunststeinmasse beigemischt wurden. Der Kunststein erweist sich als stabil und genügend verwitterungsbeständig.

1. Welches sind die Vor- und Nachteile von Sandstein für den Bau von Gebäuden?

2. Können Sie sich vorstellen, weshalb Sandstein heute nur noch für Reparaturarbeiten an bestehenden Gebäuden abgebaut wird und keine Verwendung mehr findet für grosse Bauten?